

[1]

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
20 juin 2002 (20.06.2002)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 02/48777 A2

(51) Classification internationale des brevets⁷ : G02B 26/02

(72) Inventeurs; et

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR01/03895

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : DIVOUX,
Claire [FR/FR]; 116 Cours Berriat, F-38000 Grenoble
(FR). CHABROL, Claude [FR/FR]; 1 allée des Fresnes,
F-38190 Froges (FR).

(22) Date de dépôt international :

10 décembre 2001 (10.12.2001)

(74) Mandataire : WEBER, Etienne; c/o BREVATOME, 3,
rue du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).

(25) Langue de dépôt :

français

(81) États désignés (national) : JP, US.

(26) Langue de publication :

français

(84) États désignés (régional) : brevet européen (AT, BE, CH,
CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT,
SE, TR).

(30) Données relatives à la priorité :

00 16148 12 décembre 2000 (12.12.2000) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : COM-
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR];
31/33, rue de la Fédération, F-75752 Paris 15ème (FR).

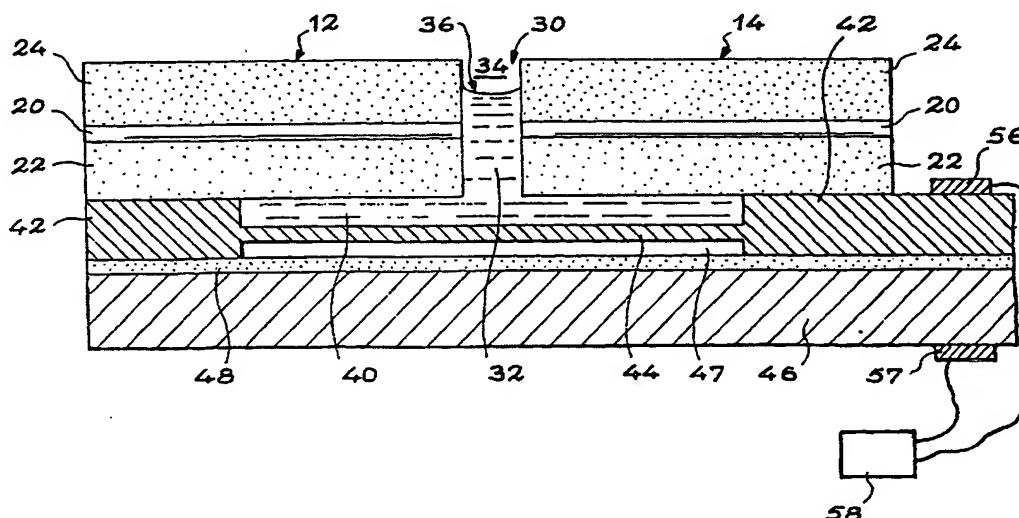
Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: OPTICAL MICRO-ACTUATOR, OPTICAL COMPONENT USING SAME, AND METHOD FOR MAKING AN OP-
TICAL MICRO-ACTUATOR

(54) Titre : MICRO-ACTIONNEUR OPTIQUE, COMPOSANT OPTIQUE UTILISANT LE MICRO-ACTIONNEUR, ET PRO-
CEDE DE REALISATION D'UN MICRO-ACTIONNEUR OPTIQUE



(57) Abstract: The invention concerns an optical micro-actuator comprising a cavity (30) arranged between at least an input optical path (12, 12a, 12b) and at least an output optical path (14, 14a, 14b), the cavity being adapted to contain at least first and second optical fluids (32, 33, 34, 35), with different optical properties, and means for modifying the position of an interface between the first and second optical fluids relative to the optical paths. The invention is characterised in that the means for modifying the position of the interface comprise at least a chamber, containing at least a fluid, in fluid communication with the cavity, and means for modifying the volume of the chamber. The invention is useful for producing switches and optical crossconnects.

[Suite sur la page suivante]

WO 02/48777 A2



En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) Abrégé : La présente invention concerne un micro-actionneur optique comportant une cavité (30) ménagée entre au moins une voie optique d'entrée (12, 12a, 12b) et au moins une voie optique de sortie (14, 14a, 14b), la cavité étant apte à contenir au moins un premier et un deuxième fluides optiques (32, 33, 34, 35), avec des propriétés optiques différentes, et des moyens pour modifier la position d'une interface entre les premier et deuxième fluides optiques par rapport aux voies optiques. Conformément à l'invention, les moyens pour modifier la position de l'interface comportent au moins une chambre, contenant au moins un fluide, en relation fluidique avec la cavité, et des moyens pour modifier le volume de la chambre. Application à la réalisation de commutateurs et de brasseurs optiques.

**MICRO-ACTIONNEUR OPTIQUE, COMPOSANT OPTIQUE UTILISANT
LE MICRO-ACTIONNEUR, ET PROCEDE DE REALISATION D'UN
MICRO-ACTIONNEUR OPTIQUE**

5 Domaine technique

La présente invention concerne un micro-actionneur optique, un composant optique utilisant le micro-actionneur, et un procédé de réalisation d'un micro-actionneur optique.

10 On entend par micro-actionneur optique un organe susceptible de modifier au moins une caractéristique d'un faisceau lumineux en réponse à un signal de commande, et qui est susceptible d'être intégré dans un circuit de commutation optique, par
15 exemple.

Un tel micro-actionneur trouve des applications dans la fabrication de composants optiques tels que, par exemple, des relais, des commutateurs, des atténuateurs, des extincteurs ou des dispositifs plus
20 complexes tels que des circuits optiques à commutation, des brasseurs optiques ou des multiplexeurs optiques.

Etat de la technique antérieure.

Pour modifier une caractéristique d'un faisceau
25 lumineux, les micro-actionneurs connus comprennent un milieu optique particulier qu'il est possible d'interposer dans le faisceau lumineux, en réponse à un signal généralement électrique. Le milieu interposé dans le faisceau est capable d'en modifier, par
30 exemple, la densité de flux lumineux, pour l'atténuer ou l'éteindre, ou encore d'en modifier la direction.

Ceci permet, par exemple, de diriger le faisceau vers une voie optique de sortie sélectionnée parmi une pluralité de voies de sortie possibles.

Le milieu qui est interposé au faisceau
5 lumineux peut être un milieu solide, un milieu liquide, ou un milieu gazeux.

L'état de la technique est principalement illustré par les documents (1) à (9) dont les références complètes sont précisées à la fin de la
10 description.

De façon plus précise, on connaît des systèmes utilisant des propriétés électro-optiques ou thermo-optiques de certains matériaux pour modifier l'indice de réfraction, la transparence ou la réflectivité d'un
15 milieu traversé par le faisceau. On peut à ce sujet se reporter au document (4) par exemple.

D'autres systèmes utilisent un miroir réfléchissant, une lame plus ou moins transparente, ou une lame d'indice déterminé, disposée ou retirée du
20 chemin optique parcouru par le faisceau.

Les documents (1) et (2) indiquent des systèmes basés sur des techniques d'éjection de fluides ou de techniques de production de bulles gazeuses.

Les documents (3) et (8), indiquent des
25 commutateurs optiques utilisant le déplacement d'un liquide entre deux guides optiques au moyen d'une pompe ou d'un élément chauffant.

L'ensemble des dispositifs mentionnés ci-dessus et illustrés par les documents cités présentent des
30 limitations qui se manifestent essentiellement dans

leur fréquence de fonctionnement, ou de résonance, et dans leur pérennité..

Les dispositifs équipés d'organes mécaniques mobiles peuvent souffrir de l'inertie de ces organes. Leurs
5 temps de réponse aux signaux de commande sont relativement longs et ils nécessitent une énergie de commande importante.

Les dispositifs qui utilisent un milieu liquide ou gazeux présentent une sensibilité élevée à
10 l'environnement et souffrent des vibrations, des chocs ou des variations de température répétés. De plus, le milieu liquide peut également présenter une inertie non négligeable et limiter la fréquence de fonctionnement.

15 Exposé de l'invention

L'invention a pour but de proposer un micro-actionneur optique ne présentant pas les limitations des dispositifs évoqués ci-dessus, ou pour lequel ces limitations sont moins restrictives.

20 Un but est en particulier de proposer un micro-actionneur optique présentant une faible inertie mécanique et susceptible de fonctionner à haute fréquence.

Un autre but est de proposer un tel actionneur
25 optique qui comporte un minimum d'éléments mobiles et qui présente une bonne longévité et/ou fiabilité de fonctionnement.

Un but de l'invention est encore de proposer un
procédé de réalisation du micro-actionneur qui soit
30 simple et économique.

Enfin, un but de l'invention est de proposer un certain nombre d'applications particulières du micro-actionneur.

Pour atteindre ces buts, l'invention a plus
5 précisément pour objet un micro-actionneur optique comportant une cavité ménagée entre au moins une voie optique d'entrée et au moins une voie optique de sortie, la cavité étant apte à contenir au moins un premier et un deuxième fluides optiques, avec au moins
10 une propriété optique différente, et des moyens pour modifier la position d'une interface entre les premier et deuxième fluides optiques, par rapport aux voies optiques. Dans ce dispositif, les moyens pour modifier la position de l'interface comportent au moins une
15 chambre, contenant au moins un fluide, en relation fluïdique avec la cavité, et des moyens à commande électrostatique pour modifier le volume de la chambre.

Ainsi, suivant le fonctionnement du micro-actionneur, à un instant donné, la cavité peut contenir
20 soit uniquement l'un des fluides, soit les deux fluides. Bien entendu, chacun des fluides peut déborder de la cavité suivant la structure du micro-actionneur.

Par ailleurs, on entend par interface une zone intermédiaire située entre les deux fluides qui peut
25 avoir une épaisseur quasi-nulle si les deux fluides sont non miscibles ou une épaisseur adaptée en fonction de l'application souhaitée (par exemple de l'épaisseur d'un faisceau) si les deux fluides sont partiellement miscibles. L'interface n'est pas forcément plane.

30 Le micro-actionneur peut comporter au moins N voies optiques d'entrée et M voies optiques de sortie,

dans lequel chaque voie optique d'entrée peut être connectée sélectivement à l'une au moins des voies optiques de sortie par l'intermédiaire de la cavité. N et M désignent des entiers qui ne sont pas
5 nécessairement égaux.

Les voies optiques d'entrée et de sortie peuvent être matérialisées, par exemple, par des guides optiques de transmission de faisceaux lumineux, ou plus simplement par des terminaux de connexion optique
10 pouvant recevoir de tels guides. La « cavité » se résume généralement à un simple espacement séparant les voies d'entrée et de sortie.

Les premier et deuxièmes fluides, et plus généralement l'ensemble des fluides optiques mis en
15 œuvre, sont choisis préférentiellement avec des propriétés optiques différentes. Ces propriétés peuvent être notamment des propriétés de réflexion, de transmission, ou de réfraction.

Ainsi, un faisceau lumineux sera différemment
20 influencé par les différents fluides optiques qu'il est susceptible de rencontrer ou de traverser.

Selon la position de l'interface entre les deux fluides et des angles entre les axes optiques des voies d'entrée et de sortie d'une part et les parois de la
25 cavité coupant les voies optiques d'autre part, un faisceau lumineux parcourant la cavité entre la voie d'entrée et de sortie, peut traverser l'un ou l'autre des fluides ou une proportion variable de chacun des fluides. Ceci a lieu, en particulier, lorsque les voies
30 optiques ne sont pas coplanaires à l'interface. Selon le choix des fluides optiques et des angles définis

précédemment, un faisceau incident peut aussi être réfracté, diffracté ou réfléchi sans traverser le fluide présent dans la cavité.

On considère enfin que la chambre est en relation fluidique avec la cavité lorsqu'un déplacement de fluide dans la chambre provoque un déplacement de fluide dans la cavité. Ceci n'implique pas nécessairement qu'un fluide circule effectivement, et de façon libre, de la chambre vers la cavité. Par exemple, la chambre peut déboucher directement dans la cavité, y être reliée par un canal plus ou moins long ou même en être éventuellement isolée par un élément de transmission tel qu'un opercule déformable. Un tel élément permet en outre d'éviter le contact entre les fluides.

Selon une réalisation particulière du micro-actionneur, les moyens pour modifier le volume de la chambre peuvent comporter une membrane déformable formant une paroi de la chambre.

L'utilisation d'une membrane permet de réduire au minimum le nombre de parties mobiles et autorise des fréquences de fonctionnement élevées.

Conformément à une caractéristique avantageuse de l'invention, l'aire de la surface libre de la membrane peut être choisie supérieure et même très supérieure à celle de la section de la cavité. Ainsi une très faible déformation de la membrane résulte en un déplacement de grande amplitude des fluides dans la cavité. Les faibles déplacements de la membrane autorisent alors des fréquences de fonctionnement encore supérieures.

Plusieurs solutions peuvent être envisagées pour provoquer un mouvement de la membrane en réponse à un signal de commande. A titre l'exemple, la membrane peut être équipée de moyens de commande électrostatiques. Ceux-ci comprennent, par exemple, une première électrode solidaire de la membrane déformable et une deuxième électrode solidaire d'un support rigide, disposée en face de la première électrode. Des reprises de contact sont par ailleurs prévus sur lesdites électrodes pour permettre une commande électrostatique. Ces reprises de contact sont réalisés de préférence par un dépôt métallique dans le plan des électrodes après éventuellement une gravure pour permettre une ouverture dans les couches recouvrant les électrodes. A partir de ces contacts la commande se fait classiquement par des techniques filaires et/ou par report d'un substrat d'interconnexion.

On peut noter que l'électrode solidaire de la membrane peut éventuellement constituer elle-même la membrane.

D'autres moyens de commande, par exemple piézoélectriques, magnétiques, thermiques, pneumatiques, etc. ou une combinaison de ces moyens peuvent être également utilisés.

Selon une autre possibilité, la chambre peut comprendre une vessie contenant au moins l'un parmi un fluide moteur et un fluide optique, et les moyens pour modifier le volume de la chambre peuvent comporter des moyens pour écraser la vessie. Comme la vessie est étanche, les moyens pour écraser la vessie peuvent être

non étanches et, par exemple, réalisés par une poutre flexible actionnable.

Dans une réalisation du micro-actionneur constituant une variante de celle précédemment exposée, celui-ci peut comporter au moins une première chambre en relation fluide avec la cavité et au moins une deuxième chambre en relation fluide avec la cavité. Dans ce cas, les moyens pour modifier le volume de la chambre peuvent comprendre au moins une membrane déformable formant une paroi d'au moins une chambre. De préférence, chaque chambre est connectée à une extrémité distincte de la cavité. Bien entendu, on peut aussi envisager le cas où chaque chambre est connectée à la même extrémité. Dans le cas de l'utilisation de plus de deux chambres, une combinaison de ces deux cas peut être envisagée.

Un micro-actionneur conforme à l'invention peut, comme évoqué précédemment être utilisé dans un composant choisi parmi les relais optiques, les extincteurs optiques, les commutateurs optiques et les atténuateurs optiques. De même, un brasseur optique peut comporter une pluralité de micro-actionneurs optiques conformes à l'invention.

L'invention concerne également un procédé de réalisation d'un micro-actionneur dans une structure formée d'un empilement de couches, comprenant les étapes suivantes :

- la formation d'au moins une chambre à fluide dans la structure, une partie arrière de la chambre comprenant une première électrode,

- la libération de la partie de la partie arrière de la chambre ainsi formée pour réaliser une membrane et mettre à nu la première électrode,
- la formation d'au moins une voie optique dans la structure et réalisation d'une cavité séparant au moins deux parties de la voie optique, la cavité coïncidant avec la chambre,
- la formation d'une deuxième électrode en regard de la première, cette deuxième électrode autorisant un débattement de la membrane.

Les étapes du procédé peuvent être réalisées dans cet ordre ou dans un ordre différent.

Selon un premier mode de mise en œuvre du procédé de réalisation d'un micro-actionneur optique, celui-ci comprend :

- la formation d'une chambre à fluide dans ou sur un premier substrat comprenant la première électrode,
- la formation d'au moins une voie optique dans ou sur un second substrat et la gravure d'une cavité séparant au moins deux parties de la voie optique,
- l'assemblage du premier substrat et du second substrat en faisant coïncider la cavité avec la chambre,
- la libération d'une partie du premier substrat, par la face arrière, pour former la membrane et mettre à nu la première électrode,
- le report sur le premier substrat d'un troisième substrat, comprenant une deuxième électrode, le troisième substrat étant reporté sur le premier substrat par l'intermédiaire de cales autorisant un débattement de la membrane.

Selon un deuxième mode de mise en œuvre du procédé de réalisation du micro-actionneur optique, il comprend les étapes suivantes :

- 5 - la formation d'au moins une chambre à fluide dans un premier substrat avec une première couche comportant la première électrode et une deuxième couche comportant la deuxième électrode, ces deux électrodes étant séparées par une couche isolante,
- 10 - la formation de ladite voie optique dans ou sur un second substrat et la gravure d'une cavité séparant au moins deux parties de la voie optique,
- l'assemblage du premier substrat et du second substrat en faisant coïncider la cavité avec la chambre,
- 15 - la libération d'une partie de la première couche comportant la première électrode pour former une membrane, par gravure à partir de la face arrière du premier substrat d'une partie de la couche isolante.

Conformément à une mise en œuvre préférée du
20 procédé on peut utiliser un premier substrat comportant une partie massive de silicium et, sur cette partie massive, un empilement comprenant une couche isolante électrique et une couche non-isolante, dans lequel :

- 25 - on forme la chambre à fluide dans une couche de matériau recouvrant ledit empilement et,
- lors de la libération de la membrane, on élimine la partie massive du premier substrat et on conserve, comme membrane, au moins une couche de l'empilement de couches, la couche non-isolante de l'empilement
30 formant une électrode solidaire de la membrane.

On qualifie de « non-isolant » aussi bien les matériaux conducteurs de l'électricité, au sens usuel du terme, tels que, par exemple, les métaux, les matériaux semi-conducteurs tels que, par exemple, le
5 silicium polycristallin, monocristallin ou amorphe.

La chambre du micro-actionneur peut être définie principalement dans une couche de matériau recouvrant le substrat. Il s'agit, par exemple, d'une chambre ouverte qui ne sera fermée, au moins
10 partiellement, qu'au moment de l'assemblage du premier et du second substrats. Des couches formant les guides optiques peuvent alors constituer également des parois de la chambre.

D'autres caractéristiques et avantages de
15 l'invention ressortiront de la description qui va suivre, en référence aux figures des dessins annexés. Cette description est donnée à titre purement illustratif et non limitatif.

20 Brève description des figures

- La figure 1 est une coupe schématique d'un actionneur optique conforme à l'invention.

- Les figures 2A et 2B sont des représentations schématiques simplifiées d'un commutateur optique
25 utilisant un actionneur optique conforme à l'invention.

- Les figures 3 à 8 sont des coupes schématiques d'un actionneur optique du type de celui de la figure 1, et illustrent des étapes successives d'un procédé permettant de fabriquer un tel actionneur.

30 - Les figures 9, 10 et 11 sont des coupes schématiques illustrant des possibilités de réalisation

d'autres actionneurs optiques conformes à l'invention, constituant des variantes par rapport au dispositif de la figure 1.

- La figure 12 est une coupe schématique d'un actionneur, conforme à l'invention constituant une variante de l'actionneur de la figure 1.

- La figure 13 est un coupe transversale schématique et simplifiée d'un micro-actionneur à deux chambres, conforme à l'invention.

- la figure 14 est une coupe XIV-XIV élargie du micro-actionneur de la figure 13.

- La figure 15 est une coupe transversale schématique et simplifiée d'un micro-actionneur double, conforme à l'invention.

- La figure 16 est une coupe transversale, schématique et simplifiée, d'un micro-actionneur conforme à l'invention, et correspondant à un perfectionnement.

Description détaillée de modes de mise en œuvre de l'invention.

Sur les figures auxquelles se réfère la description qui suit, des parties identiques, similaires ou équivalentes sont repérées avec les mêmes références numériques. Par ailleurs, pour des raisons de clarté des figures, les différentes parties ne sont pas représentées selon une échelle homogène.

La figure 1 montre un actionneur optique conforme à l'invention. Il comprend une voie optique d'entrée 12 et une voie optique de sortie 14. Dans l'exemple de la figure les voies optiques sont des

guides optiques d'entrée et de sortie. Les guides optiques sont formés par des empilements de couches : ils comportent respectivement un cœur 20 disposé entre deux couches de confinement 22 et 24. Les guides
5 peuvent être raccordés à des fibres optiques non représentées.

Selon une autre possibilité, les guides peuvent aussi être constitués directement par des fibres optiques utilisées pour l'acheminement ou la
10 transmission d'un faisceau ou d'un signal lumineux.

Les voies optiques d'entrée et de sortie présentent des extrémités séparées par une cavité 30. Sur la figure, on a représenté une seule voie optique d'entrée et une seule voie optique de sortie.
15 Toutefois, plusieurs autres voies optiques peuvent déboucher dans la même cavité 30.

La cavité 30, qui dans le cas de la figure 1 est délimitée principalement par les couches 20, 22, 24 formant les guides optiques, contient deux fluides
20 présentant des propriétés optiques différentes. Dans l'exemple illustré, le premier fluide est un liquide 32 présentant un premier indice de réfraction et le deuxième fluide est un gaz 34, par exemple de l'air, qui présente un deuxième indice de réfraction
25 différent, par exemple inférieur au premier indice de réfraction. Le premier et le deuxième fluides sont séparés par une interface repérée avec la référence 36. De préférence, le premier fluide présente un indice proche de celui du cœur 20 des guides optiques.

30 La cavité 30 est en relation fluidique avec une chambre 40 qui contient une grande partie du premier

fluide 32. Bien que ce ne soit pas indispensable au bon fonctionnement de l'actionneur, il est préférable que le fluide contenu dans la chambre 40, de volume variable, soit sensiblement incompressible. La chambre 5 40 est délimitée respectivement par les couches de confinement 22 des guides optiques, par des parois latérales rigides 42 et par une membrane flexible 44. Tous ces éléments de paroi sont assemblés entre eux de manière fixe et rigide de sorte qu'aucun des éléments 10 ne coulisse par rapport aux autres éléments à la manière d'un piston.

Le caractère flexible de la membrane 44 est cependant mis à profit pour modifier le volume de la chambre 40. La modification du volume de la chambre 15 provoque la modification de la hauteur du premier fluide 32 dans la cavité 30, c'est-à-dire un déplacement de l'interface 36 entre les premier et deuxième fluides. La quantité relative du premier fluide et du deuxième fluide peut être ajustée de telle 20 façon que l'interface 34 se déplace sensiblement à la hauteur des cœurs 20 des guides optiques des voies d'entrée et de sortie 12, 14. Dans ce cas, une flexion de la membrane a pour effet de modifier le milieu présent dans la cavité et traversé par un faisceau 25 lumineux en provenance de la voie optique d'entrée. Plus précisément, dans l'exemple de la figure, l'interface entre le premier et le deuxième fluides est une surface sensiblement parallèle à l'orientation des cœurs des guides optiques 12, 14 qui forment les voies 30 d'entrée et de sortie. Le déplacement de l'interface au-dessus ou en-dessous du plan de propagation du

faisceau lumineux provenant du guide d'entrée 12, a pour effet que le faisceau traverse respectivement le premier fluide 32, ou le deuxième fluide 34. La transition entre ces deux états peut être franche ou plus douce en fonction de la position de l'interface et son épaisseur. Dans d'autres exemples (tels que ceux des figures 10 et 13 décrites ultérieurement), dans lesquels l'interface ne serait pas sensiblement parallèle au plan défini par les cœurs des guides optiques, une transition plus douce serait également possible avec un faisceau traversant une proportion variable du premier et du deuxième fluides.

En utilisant un fluide transparent et un fluide plus ou moins opaque pour le faisceau de lumière, il est possible de former, par exemple, un interrupteur ou un atténuateur optique.

La flexion de la membrane 44 est provoquée par exemple par des moyens de commande électrostatique. Ceux-ci comprennent une première électrode solidaire de la membrane et une deuxième électrode disposée en regard de la membrane et solidaire d'un support rigide.

Une chambre 47 de très faible hauteur est prévue entre les électrodes de façon à autoriser un actionnement de la membrane sous faible tension.

On considère que les première et deuxième électrodes sont solidaires de la membrane et du support fixe soit lorsqu'elles sont rapportées sur ces parties, soit lorsqu'elles sont constituées par ces parties. Dans le cas illustré par la figure 1, la membrane 44 et le support rigide 46 constituent respectivement les première et deuxième électrodes et sont à cet effet en

un matériau non-isolant. Des prises de contacts 56, 57, par exemple métalliques, disposées respectivement sur les deux électrodes permettent de relier les électrodes à un générateur de tension 58 capable d'appliquer entre
5 les électrodes une différence de potentiel ΔV . La liaison entre les prises de contact et le générateur est réalisée soit par des techniques filaires soit par l'intermédiaire d'un substrat d'interconnexion.

La distance entre les électrodes est ajustée en
10 fonction de leur surface, de la valeur des différences de potentiel susceptibles d'être délivrées par le générateur, et en fonction de la raideur de la membrane de façon que les forces électrostatiques s'exerçant entre le support fixe et la membrane soient suffisantes
15 pour en provoquer une déflexion apte à créer une variation de volume dans la chambre. La distance entre les électrodes fixe également l'amplitude maximum de déflexion de la membrane. On peut observer à ce sujet qu'une couche 48 de matériau isolant électrique
20 recouvre le support rigide 46 pour éviter un court-circuit entre les électrodes par contact ou par claquage.

Un capot pourrait éventuellement refermer la structure. Le capot peut comporter un substrat creusé
25 en regard de la cavité et déposé sur les guides optiques. Ce capot permettrait en particulier de limiter l'évaporation des fluides et pourrait contenir un autre fluide.

A titre d'illustration, une membrane de
30 silicium d'un diamètre de $200\mu\text{m}$, d'une épaisseur de $1\mu\text{m}$, dont la fréquence de résonance est de 100KHz , et

devant se défléchir de $0.27\mu\text{m}$ en son centre, nécessite une pression répartie de 2700Pa approximativement. Ceci correspond à une force électrostatique exercée entre les deux électrodes, distantes de $1\mu\text{m}$, et soumises à
5 une différence de potentiel inférieure à 50V .

Dans l'exemple donné ci-dessus, on considère que la variation de volume de la chambre doit correspondre à une variation de volume dans la cavité permettant de déplacer l'interface 36 des fluides
10 optiques de part et d'autre d'une région dans laquelle débouchent les guides optiques. La variation de volume est, dans l'exemple considéré, de $2800\mu\text{m}^3$. Ceci correspond à une cavité capillaire 30 ayant une section de $20 \times 7\mu\text{m}^2$, et à un déplacement de l'interface de
15 $20\mu\text{m}$. Dans des cas particuliers, l'amplitude de déplacement peut encore être réduite dans la mesure où les dimensions du faisceau sortant d'un guide optique peut présenter un diamètre de l'ordre de $9\mu\text{m}$. L'amplitude du déplacement ou le volume déplacé peut
20 être plus grand pour des raisons de fiabilité du fonctionnement, par exemple lors d'une dilatation en température des fluides en présence.

Selon un aspect avantageux de la construction de l'actionneur, la membrane 44 de la chambre 40 peut,
25 en effet, présenter une aire très supérieure à la section de la cavité 30 qui sépare les extrémités des guides optiques. Ainsi une faible amplitude de déformation de la membrane, compatible avec des fréquences de fonctionnement élevées, se traduit par
30 une modification rapide et de plus forte amplitude de

la position de l'interface 36 des fluides présents dans la cavité.

Une utilisation d'un actionneur conforme à la figure 1, comme commutateur optique est illustrée de façon très schématique par les figures 2A et 2B. Les références 12a et 12b indiquent respectivement une première et une deuxième voies optiques d'entrée qui aboutissent à une cavité 30 présentant une paroi 31. La cavité 30 est une cavité d'un actionneur tel que décrit précédemment. La paroi 31 correspond à l'intersection entre la voie optique 12a et la cavité 30.

Les références 14a et 14b se rapportent à des voies optiques de sortie coplanaires aux voies optiques d'entrée et aboutissant également à la cavité 30.

L'actionneur peut avoir deux états de commutation selon que la cavité 30 est occupée par un premier ou un deuxième fluides optiques. Ces deux états de commutation sont illustrés respectivement par les figures 2A et 2B.

Dans l'état de commutation correspondant à la figure 2A, la cavité 30 est remplie essentiellement par l'un des fluides optiques, par exemple de l'eau, de sorte que l'indice optique du milieu de part et d'autre de la paroi 31 est sensiblement le même. Un faisceau en provenance de la première voie d'entrée 12a traverse le dispositif pour en ressortir par la voie optique de sortie 14a alignée avec la première voie d'entrée.

De la même façon, un faisceau en provenance de la deuxième voie d'entrée 12b traverse le dispositif pour en ressortir par la voie optique de sortie 14b alignée avec la deuxième voie d'entrée.

Cet état de commutation ne dévie pas le faisceau. La propagation des faisceaux est indiquée par des flèches.

Dans l'état de commutation correspondant à la figure 2B, la cavité 30 est remplie essentiellement par un fluide optique dont l'indice est différent de celui constituant les guides optiques, par exemple, de sorte que l'indice optique du milieu de part et d'autre de la paroi 31 est différent et provoque une réfraction. Un faisceau en provenance de la première voie d'entrée 12a traverse le dispositif pour en ressortir non pas par la voie optique de sortie 14a alignée avec la première voie d'entrée, mais par la voie optique de sortie 14b alignée avec la deuxième voie d'entrée.

De même, un faisceau en provenance de la deuxième voie d'entrée 12b traverse le dispositif pour en ressortir par la première voie optique de sortie 14a alignée avec la première voie d'entrée 12a.

Cet état de commutation dévie le faisceau.

En se reportant aux figures 3 à 8 on décrit à présent un procédé de fabrication d'un actionneur optique du type de celui de la figure 1.

Une première étape, correspondant à la figure 3, comprend la formation de la chambre destinée à contenir au moins l'un des fluides optiques. Celle-ci est formée, par exemple, sur un substrat de type SOI (Silicon On Insulator, silicium sur isolant) comprenant une couche massive de silicium 60, une couche enterrée 62 d'oxyde de silicium et une couche mince superficielle de silicium 144. La couche mince superficielle présente une épaisseur de l'ordre de 1µm,

par exemple. Une couche d'oxyde de silicium 142, plus épaisse, est formée sur la couche mince superficielle et est gravée avec arrêt sur la couche mince de silicium 144 pour définir l'emplacement et les dimensions de la chambre 40. La gravure de la couche d'oxyde de silicium 142 laisse subsister les parois latérales 42 de la chambre.

Un deuxième substrat sacrificiel 64, sur lequel on a formé des guides optiques d'entrée et de sortie 12, 14, séparés par une cavité 30, est reporté et collé sur le premier substrat en mettant en contact les guides optiques 12 et 14 avec les parois latérales 42 de la chambre 40. Le collage peut avoir lieu, par exemple, par adhésion moléculaire directe ou par l'intermédiaire d'une colle. Cette étape est représentée à la figure 4.

La fabrication des guides optique n'est pas décrite de façon détaillée ici. Elle fait appel à des techniques connues de confinement optique consistant à envelopper un cœur optique 20 dans des couches de confinement 22, 24. Les matériaux des couches de confinement présentant des indices de réfraction inférieurs à celui du cœur.

Une étape suivante, illustrée par la figure 5 montre l'élimination de la partie massive 60 du premier substrat. Cette opération a lieu par gravure avec arrêt sur la couche d'oxyde de silicium enterrée 62.

Une partie de la couche enterrée d'oxyde de silicium 62 est ensuite également gravée dans une région coïncidant avec la chambre 40. Cette gravure permet de définir la membrane 44 qui correspond à une

partie de la couche mince de silicium 144 mise à nu par la gravure. La membrane 44 est visible sur la figure 6.

Le dispositif de la figure 6 est ensuite reporté, comme le montre la figure 7, sur un substrat de support comportant une couche épaisse de silicium 46 recouverte d'une couche mince d'oxyde de silicium 48. Le report a lieu en mettant en contact la couche superficielle d'oxyde de silicium 48 du substrat de support sur la partie de la couche de silicium enterrée 62 du premier substrat préservée lors de la gravure de mise à nu de la membrane. Le collage peut, par exemple, avoir lieu par adhérence directe ou en utilisant une couche intermédiaire de colle.

On constate à présent sur la figure 7 que l'épaisseur de la couche d'oxyde enterrée 62 du premier substrat détermine en partie l'amplitude de débattement de la membrane. La couche d'oxyde constitue les parois latérales d'une cavité d'actionnement qui est ici remplie d'air, c'est-à-dire d'un gaz compressible, ou du vide partiel. La couche superficielle 48 du substrat de support constitue une isolation électrique entre les électrodes, c'est-à-dire entre la membrane 44 et la couche épaisse de silicium 46.

Une étape suivante visible à la figure 8 comprend l'élimination de tout ou partie du substrat sacrificiel de façon à déboucher la cavité 30. Le dispositif est achevé en emplissant la chambre 40 et une partie ou totalité de la cavité 30 d'un liquide ou d'un gel 32 formant le premier fluide optique. Des prises de contact peuvent également être formées sur la

membrane et le substrat de support 46 qui constituent les électrodes des moyens de commande électrostatique.

On obtient finalement un actionneur assez proche de celui de la figure 1. Les principales
5 différences tiennent au choix des matériaux et la disposition des parois latérales 42 de la chambre 40.

On décrit à présent, de façon plus sommaire, d'autres modes de mise en œuvre de l'invention.

La figure 9 montre un actionneur optique
10 comprenant une cavité 30 à laquelle sont raccordées deux chambres distinctes 40 et 40a. La chambre 40a a, par exemple, été formée par le scellement d'un capot 70 après remplissage de la cavité. Les chambres sont raccordées à la cavité de part et d'autre des guides
15 optiques 12, 14, formant les voies d'entrée et de sortie.

La première chambre 40 présente une construction très voisine de la chambre 40 de la figure 1. Elle comporte une membrane flexible 44 mue par des
20 moyens de commande électrostatique. La paroi de la chambre peut être rigide ou présenter une certaine souplesse pour permettre de limiter une éventuelle atténuation de mouvement de l'interface 36. Si la paroi de la chambre est souple, on peut utiliser un fluide de
25 ballast 35 compressible ou non. La deuxième chambre 40a, ne présente pas de membrane.

La première chambre contient un premier fluide 31 appelé fluide moteur. Il s'agit, par exemple, d'un liquide incompressible qui ne présente pas
30 nécessairement de propriétés optiques et dont le volume est insuffisant pour atteindre la cavité. Le fluide

moteur n'est utilisé que pour transmettre le mouvement de la membrane aux fluides optiques. Les fluides optiques sont repérés avec les références 32 et 34.

Le premier fluide optique 32 s'étend depuis la
5 cavité 30 où il est en contact avec le deuxième fluide
optique 34, jusque dans la première chambre 40. Le
deuxième fluide optique 34 s'étend en partie dans la
deuxième chambre 40a. La chambre 40a est par ailleurs
10 comblée d'un fluide de ballast 35, par exemple de l'air
ou un autre gaz compressible, pour compenser les
modifications de volume de la première chambre 40. A
titre d'exemple, comme fluide moteur, on peut choisir
de l'eau, une huile, un alcool, un liquide
diélectrique, un fluide magnétique, etc...

15 Comme fluide optique on peut prendre les mêmes
que précédemment, ainsi que de l'air atmosphérique, ou
sous vide partiel.

Dans certains cas, on peut aussi choisir les
fluides identiques.

20 L'actionneur optique de la figure 9 présente
l'avantage d'être complètement étanche au milieu
extérieur et donc d'être peu influençable.

La figure 10 illustre un autre exemple de
réalisation d'un actionneur conforme à l'invention.

25 Celui-ci comprend deux chambres 40 et 41
comprenant chacune une membrane flexible 44, 45 mue par
un moteur électrostatique du type déjà décrit. Une
couche de support conductrice 46 constitue une
électrode fixe commune dans cet exemple au deux
30 moteurs. Les chambres, qui contiennent chacune un
fluide optique, sont reliées entre elles par un canal

qui forme une cavité 30 au sens de l'invention. L'un des guides optiques est représenté de façon simplifiée avec la référence 14. Il débouche dans la cavité dans une zone dans laquelle l'interface 36 entre les fluides optiques peut se déplacer sous l'effet de la déformation des membranes. Le déplacement de l'interface permet de mettre l'extrémité du guide optique en contact tantôt avec tout ou partie de l'un des fluides optiques tantôt avec tout ou partie de l'autre, dans cet exemple, l'interface 36 est sensiblement perpendiculaire au plan des couches.

Encore une autre possibilité de réalisation de l'actionneur est montrée par la figure 11. Dans l'exemple de cette figure la chambre à volume variable de l'actionneur optique contient une vessie 43 ou est même formée par la vessie 43.

La vessie 43 est raccordée à la cavité 30 et contient pour l'essentiel un fluide optique 32 dont la hauteur dans la cavité peut être changée par modification du volume de la vessie. Les moyens pour modifier le volume de la vessie comportent essentiellement une poutre flexible 80 dont une première extrémité, fixe, est solidaire d'un support 82 et dont une extrémité libre peut venir écraser plus ou moins la vessie lorsque la poutre est sollicitée en flexion vers la vessie. La flexion de la poutre est provoquée par un actionnement extérieur quelconque symbolisé simplement par une flèche. L'actionnement peut par exemple résulter d'un dispositif à piston, d'un moteur électrostatique ou d'un moteur électromagnétique, par exemple. L'actionnement peut se

faire également de façon directe sur la vessie, et par des moyens qui ne seraient pas réalisés par les techniques de la micro-électronique (par exemple électro-aimant ou actionneur piézoélectrique).

5 Sur la figure 11 on peut noter la présence de deux guides optiques 12 et 14 s'étendant selon des directions sensiblement perpendiculaires et débouchant dans la cavité 30.

Un des principaux avantages de l'actionneur
10 optique de la figure 11 consiste en la simplification de la fabrication de la chambre ou plus précisément du réceptacle 84 du fluide optique. En effet, comme la vessie joue le rôle de chambre à volume variable et assure l'étanchéité nécessaire à la conservation du
15 fluide optique, le réceptacle 84 peut être ajouré ou tout au moins présenter une étanchéité imparfaite.

Pour éviter une surcharge des figures, celles-ci ne représentent pas d'échappements. Des échappements peuvent toutefois être réalisés par des ouvertures de
20 dimensions telles qu'elles permettent un échappement sélectif de fluide pour éviter un amortissement du mouvement de l'interface.

La sélectivité peut être en particulier réalisée par les dimensions des échappements, des
25 traitements de surface et/ou des choix de matériaux assurant des effets appropriés de capillarité.

De même, on n'a pas représenté les trous de remplissage des fluides ainsi que les bouchons de fermeture de ces trous.

30 On décrit à présent différentes variantes de réalisation d'actionneurs conformes à l'invention.

La figure 12 montre un actionneur dont la structure est proche de celle de l'actionneur déjà décrit en référence à la figure 1. L'actionneur est formé par l'assemblage d'un premier substrat conforme
5 au substrat décrit en référence à la figure 3, et d'un deuxième substrat sur lequel sont formés les guides optiques 12,14. Après gravure de la chambre 40, dans une couche d'oxyde de silicium 142, les premier et deuxième substrats sont assemblés en alignant la
10 cavité 30 avec la chambre 40.

Une ouverture 50 est ensuite pratiquée dans la parie massive du substrat comprenant la couche épaisse 46 de silicium. L'ouverture 50 traverse la couche 46 de part en part jusqu'à atteindre la couche d'oxyde de
15 silicium en terrée 62. Une attaque chimique sélective, pratiquée à travers l'ouverture 50, permet ensuite de graver en partie la couche enterrée d'oxyde de silicium pour libérer la couche mince 144 sur sa face arrière et ainsi former la membrane 44. La membrane 44 et la
20 couche épaisse 46 du substrat, en silicium, forment respectivement les électrodes de moyens électrostatiques d'actionnement de la membrane

L'actionneur optique de la figure 13 est actionneur à deux chambres 40 et 41, comparable à
25 l'actionneur de la figure 10. Il comporte également un substrat de type SOI avec une couche « superficielle » 144, séparée d'une partie massive par une couche enterrée 162 isolante. La couche 144, qui est, par exemple, une couche de silicium, est utilisée pour la
30 formation des membranes 44 et 45. Les chambres 40 et 41, de même que le canal 30, sont pratiqués dans une

même couche de matériau qui est repérée avec la référence 42 par analogie avec les figures précédentes. La référence 36 désigne l'interface entre les fluides optiques.

5 Les références 52 et 54 indiquent des canaux de remplissage des chambres traversant un substrat 46. Ceux-ci sont prévus pour emplir les chambres avec les fluides optiques après l'assemblage des substrats. Les canaux 52 et 54 sont obturés par des bouchons 70.
10 Enfin, les guides optiques sont indiqués très sommairement en trait discontinu.

La figure 14 qui est une coupe XIV-XIV de la figure 13, permet de mieux constater la disposition des guides optiques d'entrée et de sortie. On observe que le
15 dispositif est pourvu de deux voies optiques d'entrée 12a et 12b ainsi que de deux voies optiques de sortie 14a et 14b.

La figure 15 montre un dispositif particulier incluant dans un même substrat deux actionneurs
20 optiques conformes à l'invention. Les deux actionneurs présentent chacun une chambre 40, 40a, pourvue respectivement d'une membrane flexible 44, 44a. Tout comme pour les dispositifs des figures précédentes les membranes constituent également des électrodes
25 coopérant avec la couche épaisse 46 du substrat utilisée comme contre électrode. Une tranchée 51 pratiquée dans le substrat s'étend de part en part de la couche 46 et est remplie d'un matériau isolant électrique 53. La tranchée et le matériau isolant sont
30 prévus pour isoler deux parties de la couche épaisse 46, qui forment respectivement des contre électrodes

pour les membranes des deux actionneurs optiques. Des prises de contact 56a et 56b sont formés sur une face arrière de la couche épaisse 46 et sont séparées par une couche d'isolant électrique. La face arrière est
5 ici la face tournée à l'opposé des chambres 40 et 40a.

Un substrat de commande indiqué en trait discontinu peut être reporté sur la face présentant les prises de contact 56a et 56b. Le substrat de commande présente, par exemple, des corniches coïncidant avec
10 les prises de contact et peut comporter un circuit d'adressage matriciel et de commande des prises de contact. Ce circuit n'est pas représenté pour des raisons de clarté.

La figure 16 montre un micro-actionneur
15 constituant une variante du micro-actionneur décrit en référence à la figure 9. Elle montre un perfectionnement visant à compenser les effets d'une fluctuation de la température à laquelle le dispositif risque d'être soumis.

20 De façon plus précise, le perfectionnement vise à compenser les effets d'une dilatation d'un fluide et en particulier du fluide de ballast 35 contenu dans la deuxième chambre 40a. Ce fluide peut, notamment s'il s'agit d'un gaz, avoir une sensibilité à la
25 température, et provoquer éventuellement une commutation intempestive, lorsque le seuil de commutation est faible.

Le micro-actionneur de la figure 16 comprend à cet effet un canal d'évent 49 qui relie la deuxième
30 chambre 40a à la chambre 47 située sur un côté de la membrane 44 opposée à la cavité 30. La chambre 47 est

délimitée en partie par la membrane 44, ou, éventuellement, par les électrodes d'actionnement de la membrane.

Ainsi, la dilatation de l'un des fluides, ou
5 tout au moins du fluide de ballast, provoque une pression non seulement sur un côté du fluide contenu dans la cavité 30 mais aussi sur la membrane.

Il en résulte une meilleure insensibilité du dispositif à la température.

10 Le canal d'évent peut être gravé à travers les différentes couches de l'empilement.

Il convient de préciser que le plan de coupe de la figure 16 forme un angle avec le plan de coupe de la figure 9, de sorte que les voies optiques ne sont pas
15 visibles sur la figure 16. L'extrémité des voies optiques débouchent dans la cavité 30 mais ne sont pas représentées pour des raisons de clarté de la figure.

Une insensibilité à la température peut aussi être obtenue, par exemple, en emprisonnant un même
20 fluide à la même pression dans les chambres 40a et 47 de part et d'autre de la cavité 30. Dans ce cas, la présence d'un canal d'évent est superflue. Il est enfin possible de thermostatier l'ensemble du dispositif. Ces solutions s'avèrent cependant plus difficiles à mettre
25 en œuvre.

DOCUMENTS CITES

(1)

30 "Compact scalable Fiber Optic Cross-connect Switches"

de J.E. Fouquets, S.Venkatesh, M. Troll, D. Chen,
S. Schiaffino, P.W. Barth, Hewlett Packard
laboratories, IEEE 1999

(2)

5 "Total internal reflection optical switches
employing thermal activation"

US 5,699,462 Hewlett Packard Company, 1997

(3)

10 "Optical Device or Switch for controlling radiation
conducted in an optical waveguide"

de Franz Auracher et al.

US 4,505,539 SIEMENS , 1985

(4)

15 "Optical Switch Array"

Segawa

4,648,686 RICOH Ltd., 1997

(5)

20 "Fiber optic high speed pulse scanner"

de Edward F. Mayer

4,615,580 RICOH Ltd, 1986

(6)

25 "Optical switch using bubbles"

de J.L. Jackel et al.

US 4,988,157 Bell Communications Research, Inc.,
1991

(7)

30 "Bistable optical switching using electrochemically
generated bubbles"

de J.L. Jackel et al.,

Bell Communications Research, 1990, Optical society
of America

(8)

"Automated Optical Main Distributed Frame System"
5 de Kanai et al.
5,204,921, NTT Corporation 1993
et

"Automated optical MDF system"
de kanai et al.,
10 EP 0 494 738 B1, NTT Corporation 1992

(9)

"Micromachined optical switch"
de Aksyuk, Vladimir Anatolyevich et al.
EP 0 880 040 A2 Lucent Technologies Inc., 1998.

REVENDICATIONS

1. Micro-actionneur optique comportant une cavité (30) ménagée entre au moins une voie optique d'entrée (12, 12a, 12b) et au moins une voie optique de sortie (14, 14a, 14b), la cavité étant apte à contenir au moins un premier et un deuxième fluides optiques (32, 33, 34, 35), avec au moins une propriété optique différente, et des moyens pour modifier la position d'une interface entre les premier et deuxième fluides optiques par rapport aux voies optiques, dans lequel les moyens pour modifier la position de l'interface comportent au moins une chambre (40, 41, 43), contenant au moins un fluide, en relation fluidique avec la cavité (30), et caractérisé en outre par des moyens à commande électrostatique (44, 46, 80) pour modifier le volume de la chambre.

2. Micro-actionneur optique selon la revendication 1, dans lequel les moyens pour modifier le volume de la chambre comportent une membrane déformable (44, 45) formant une paroi de la chambre.

3. Micro-actionneur selon la revendication 2, comprenant une première électrode solidaire de la membrane déformable (44) et une deuxième électrode solidaire d'un support rigide (46), disposée en face de la première électrode.

4. Micro-actionneur selon la revendication, 2 dans lequel la membrane (44) présente une surface libre dont l'aire est supérieure à une section de la cavité.

5. Micro-actionneur selon la revendication 1 dans lequel la chambre présente au moins une paroi souple et contient au moins un fluide (31, 32) sensiblement incompressible.

6. Micro-actionneur selon la revendication 1, dans lequel la chambre présente des parois rigides et contient au moins un fluide compressible.

7. Micro-actionneur selon la revendication 1, comprenant une pluralité N de voies optiques d'entrée (12a, 12b) et une pluralité M de voies optiques de sortie (14a, 14b), dans lequel chaque voie optique d'entrée peut être connectée sélectivement à l'une au moins des voies optiques de sortie par l'intermédiaire de la cavité.

8. Micro-actionneur selon la revendication 1 comprenant au moins un premier guide optique formant au moins une voie d'entrée et au moins un deuxième guide optique formant au moins une voie de sortie.

9. Micro-actionneur selon la revendication 1 dans lequel la chambre contient au moins un fluide choisi parmi le premier et le deuxième fluides optiques (32, 34) et/ou au moins un fluide moteur (31) en contact direct ou non avec au moins l'un des premier et deuxième fluides optiques

10. Micro-actionneur selon la revendication 1,
dans lequel la chambre comprend une vessie (43)
contenant au moins l'un parmi un fluide moteur et un
fluide optique, et les moyens pour modifier le volume
5 de la chambre comportent des moyens (80) pour écraser
la vessie.

11. Micro-actionneur selon la revendication 1
comportant au moins une première chambre (40) en
10 relation fluidique avec la cavité (30) et au moins une
deuxième chambre (40a, 41) en relation fluidique avec
la cavité et dans lequel les moyens pour modifier le
volume de la chambre comprennent au moins une membrane
(44, 45) déformable formant une paroi d'au moins une
15 chambre.

12. Micro-actionneur selon la revendication 11,
comprenant un canal d'évent (49) reliant la deuxième
chambre (40a) en relation fluidique avec la cavité à
20 une chambre (47) située sur un côté de la membrane (44)
opposée à la cavité (30).

13. Micro-actionneur selon la revendication 11,
dans lequel chaque chambre comporte une membrane
25 déformable (44, 45) mue par un moteur électrostatique.

14. Brasseur optique comprenant une pluralité
de micro-actionneurs optiques conformes à la
revendication 1.

15. Utilisation d'un micro-actionneur selon la revendication 1, dans un composant choisi parmi les relais optiques, les extincteurs optiques, les commutateurs optiques et les atténuateurs optiques.

5

16. Procédé de réalisation d'un micro-actionneur optique comprenant les étapes suivantes :

- la formation d'une chambre à fluide (40) sur un premier substrat (60) comprenant une première
10 électrode (144),
- la formation d'au moins une voie optique (12, 14) sur un second substrat (64) et la gravure d'une cavité (30) séparant deux parties de la voie optique,
- 15 - l'assemblage du premier substrat (60) et du second substrat (64) en faisant coïncider la cavité et la chambre,
- la libération d'une partie du premier substrat, par une face arrière, pour former une membrane (44) et
20 mettre à nu la première électrode,
- le report sur le premier substrat d'un troisième substrat (46, 48), comprenant une deuxième électrode (46), le troisième substrat étant reporté sur le premier substrat par l'intermédiaire de cales (62)
25 autorisant un débattement de la membrane (44).

17. Procédé selon la revendication 16, dans lequel on utilise un premier substrat comportant une partie massive de silicium (60) et, sur cette partie
30 massive, un empilement comprenant une couche (62)

isolante électrique et une couche non-isolante (144), dans lequel :

- on forme la chambre à fluide dans une couche de matériau (42) recouvrant ledit empilement et,
- 5 - lors de la libération de la membrane on élimine la partie massive du premier substrat et on conserve, comme membrane, au moins une couche de l'empilement de couches, la couche non-isolante de l'empilement formant une électrode solidaire de la membrane.

10

18. Procédé selon la revendication 16, dans lequel on forme une chambre (40) ouverte dans une couche de matériau (42) du premier substrat et on ferme ladite chambre lors de l'assemblage du premier et du
15 second substrats.

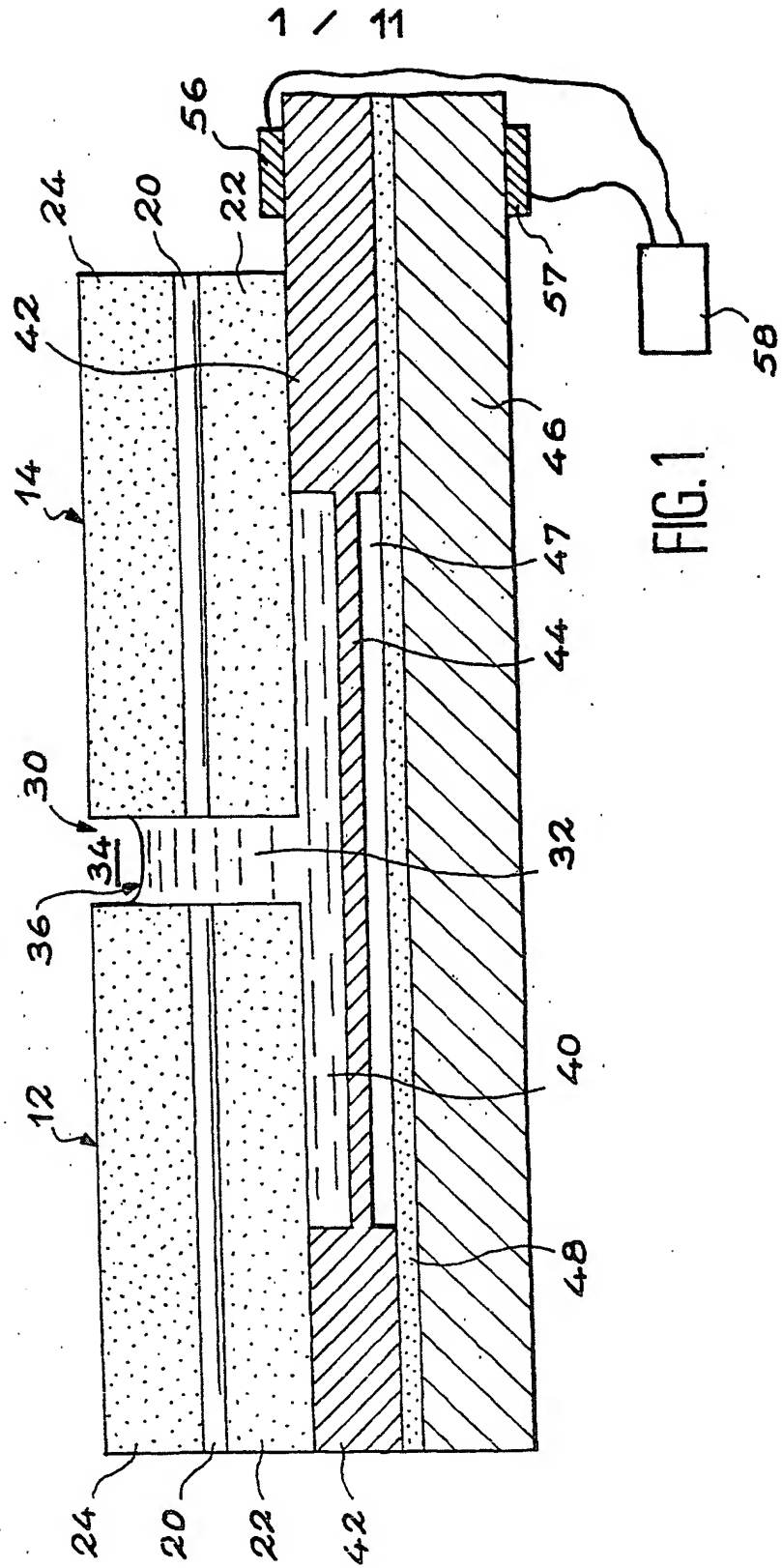
19. procédé de réalisation d'un micro-actionneur dans une structure formée d'un empilement de couches, comprenant les étapes suivantes :

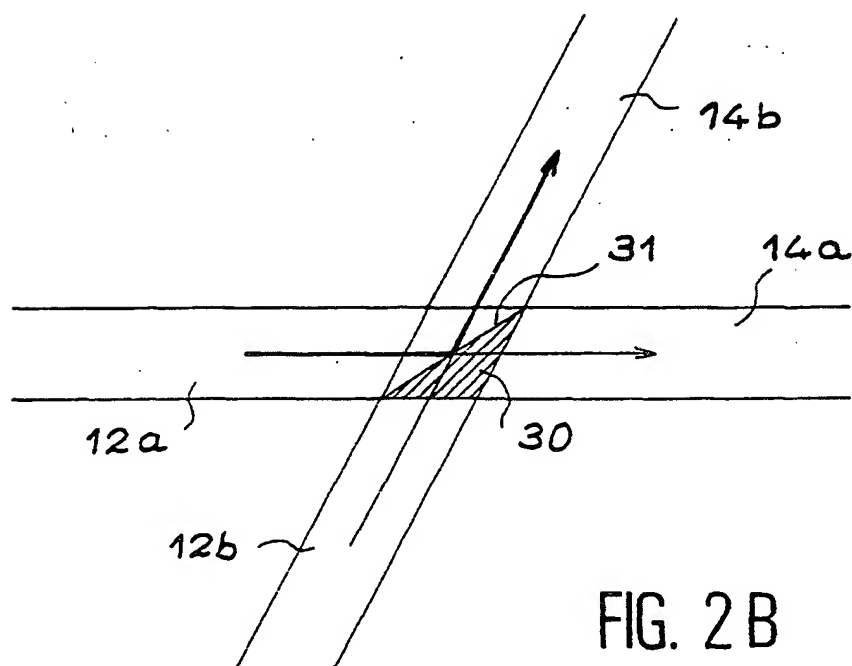
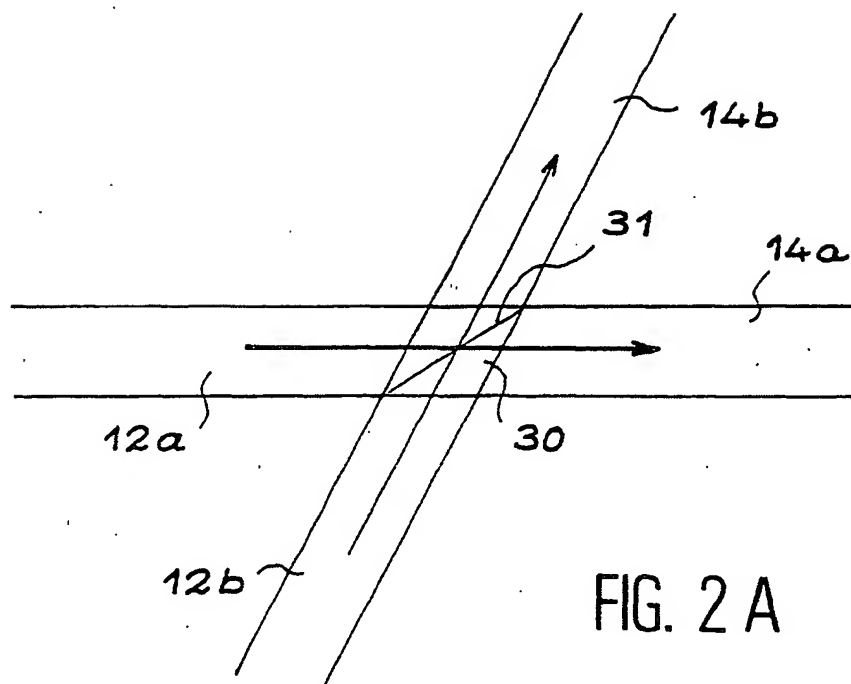
- 20 - la formation d'au moins une chambre à fluide dans la structure, une partie arrière de la chambre comprenant une première électrode,
- la libération de la partie de la partie arrière de la chambre ainsi formée pour réaliser une membrane et
25 mettre à nu la première électrode,
- la formation d'au moins une voie optique dans la structure et réalisation d'une cavité séparant au moins deux parties de la voie optique, la cavité coïncidant avec la chambre,

- la formation d'une deuxième électrode en regard de la première, cette deuxième électrode autorisant un débattement de la membrane.

5 20. Procédé de réalisation du micro-actionneur optique, comprenant les étapes suivantes :

- la formation d'au moins une chambre à fluide dans un premier substrat avec une première couche comportant la première électrode et une deuxième couche
10 comportant la deuxième électrode, ces deux électrodes étant séparées par une couche isolante,
- la formation d'au moins ladite voie optique dans ou sur un second substrat et la gravure d'une cavité séparant au moins deux parties de la voie optique,
- 15 - l'assemblage du premier substrat et du second substrat en faisant coïncider la cavité avec la chambre,
- la libération d'une partie de la première couche comportant la première électrode pour former une
20 membrane, par gravure à partir de la face arrière du premier substrat d'une partie de la couche isolante.





3 / 11

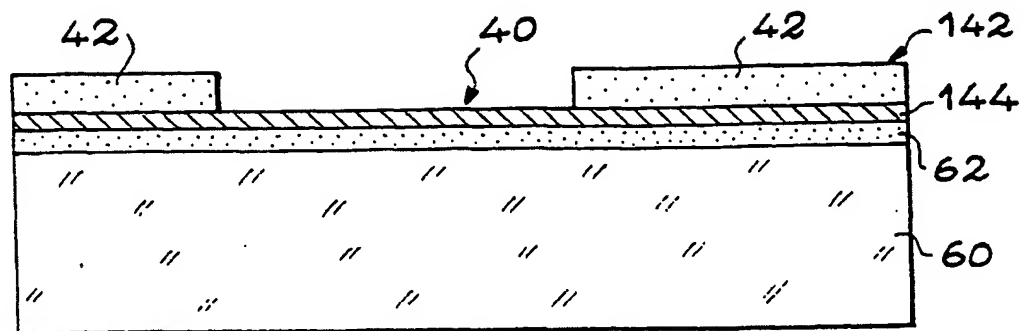


FIG. 3

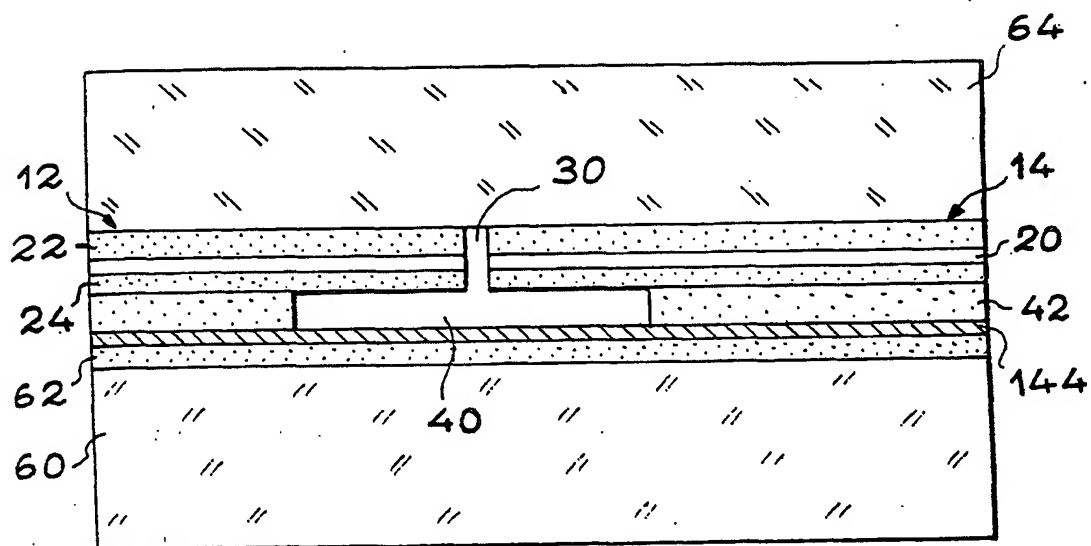


FIG. 4

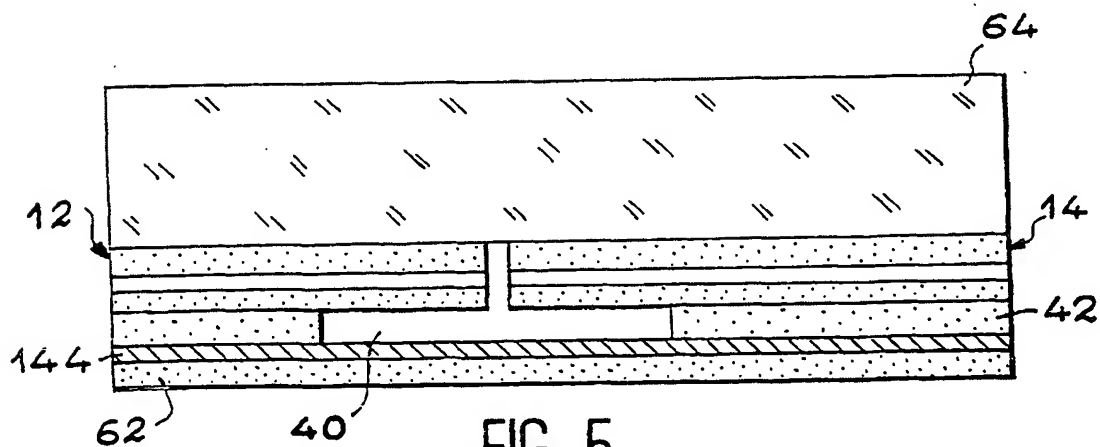
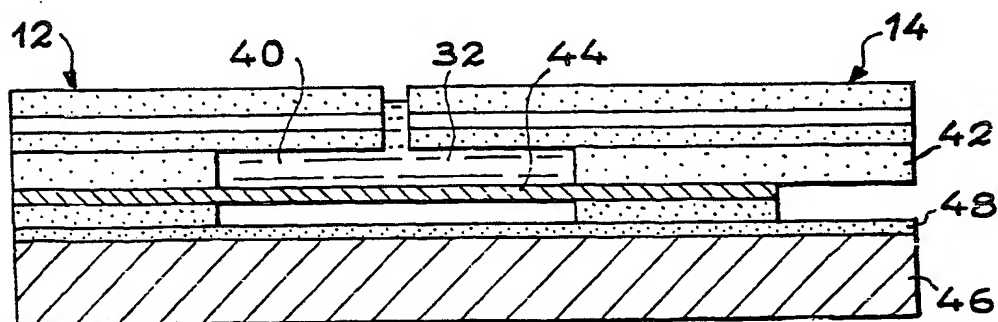
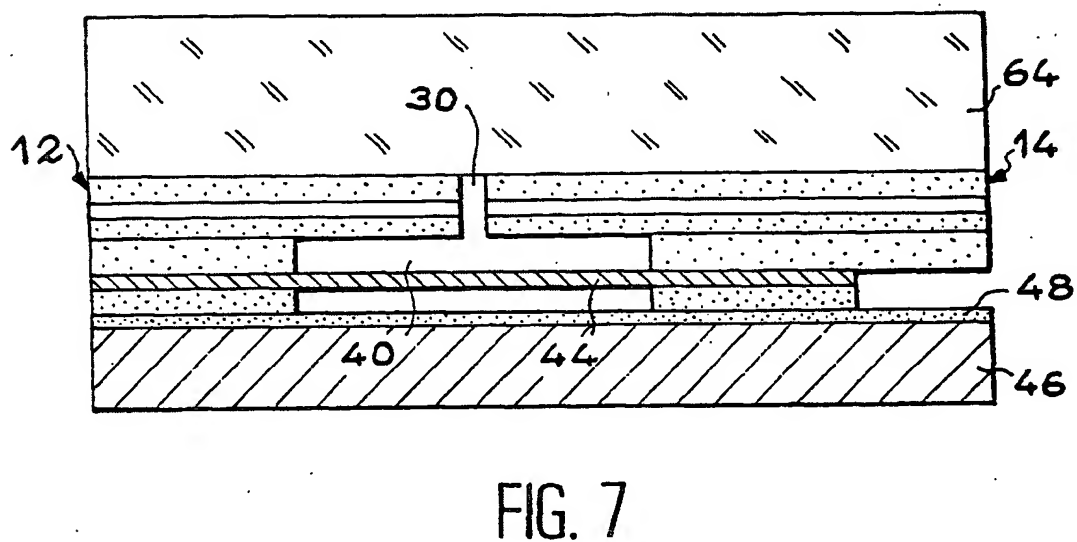
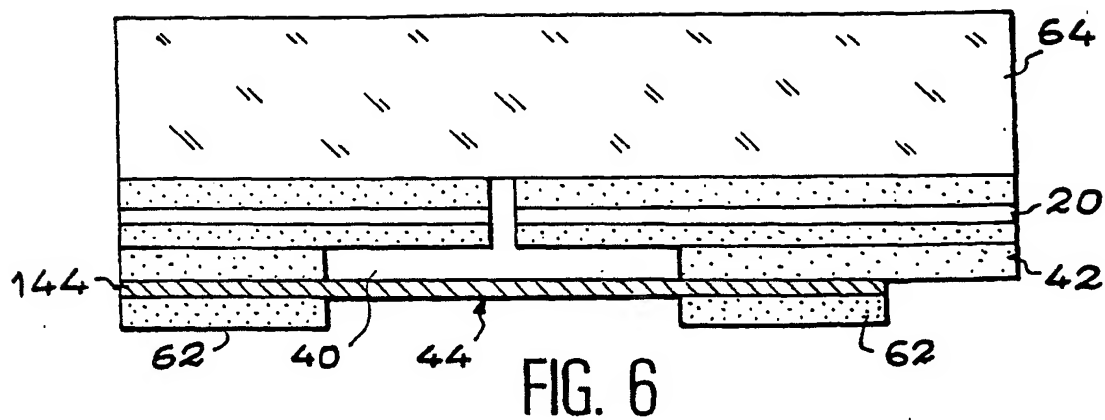


FIG. 5

4 / 11



5 / 11

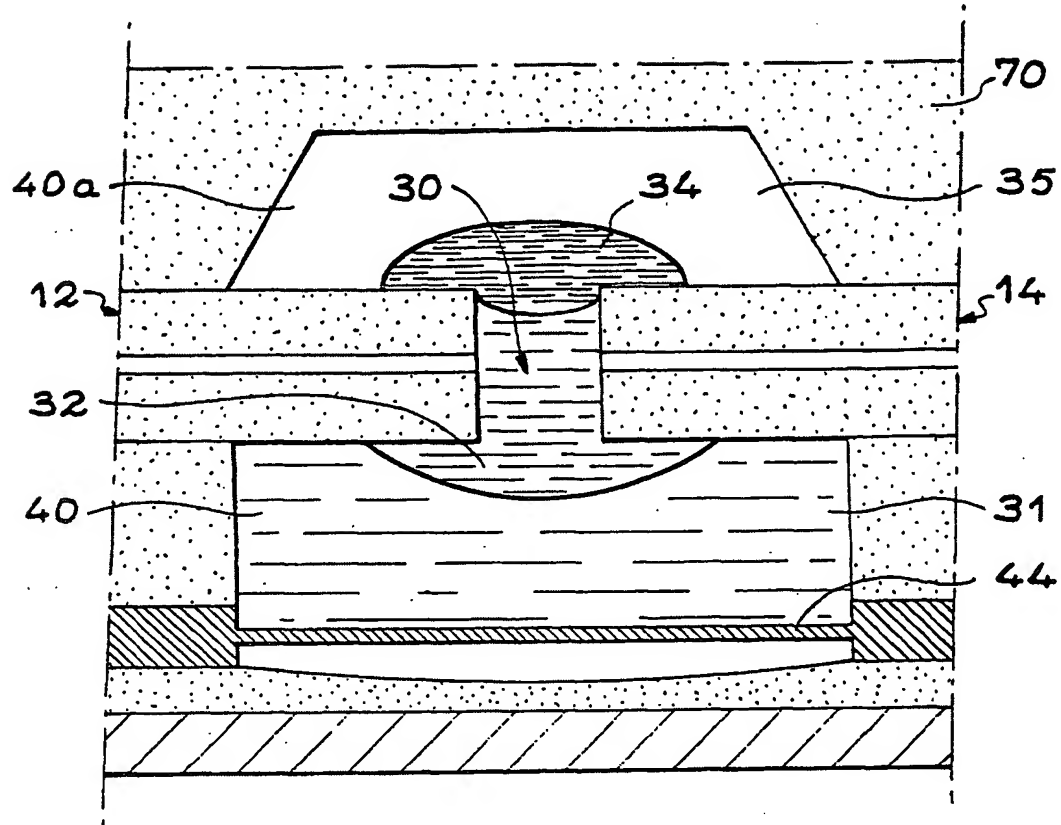


FIG. 9

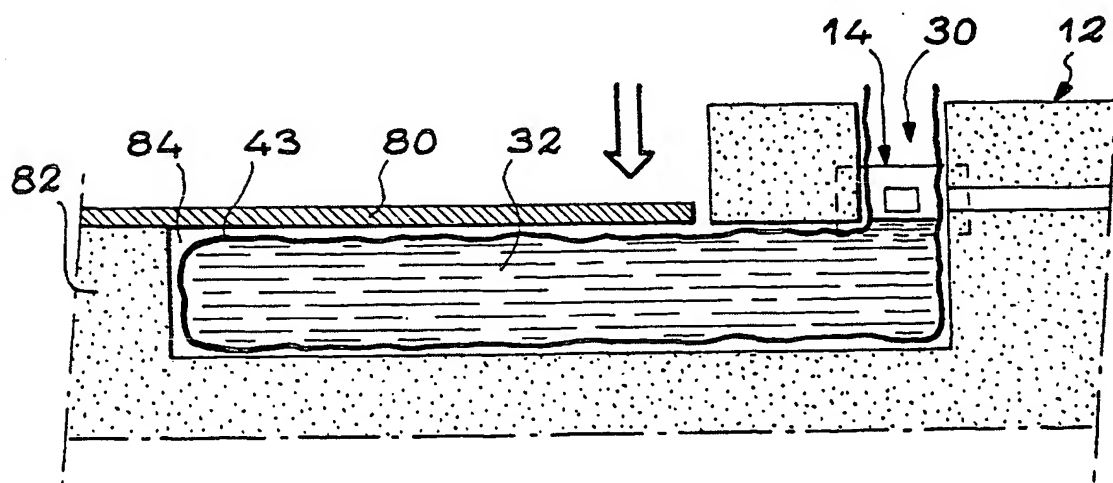


FIG. 11

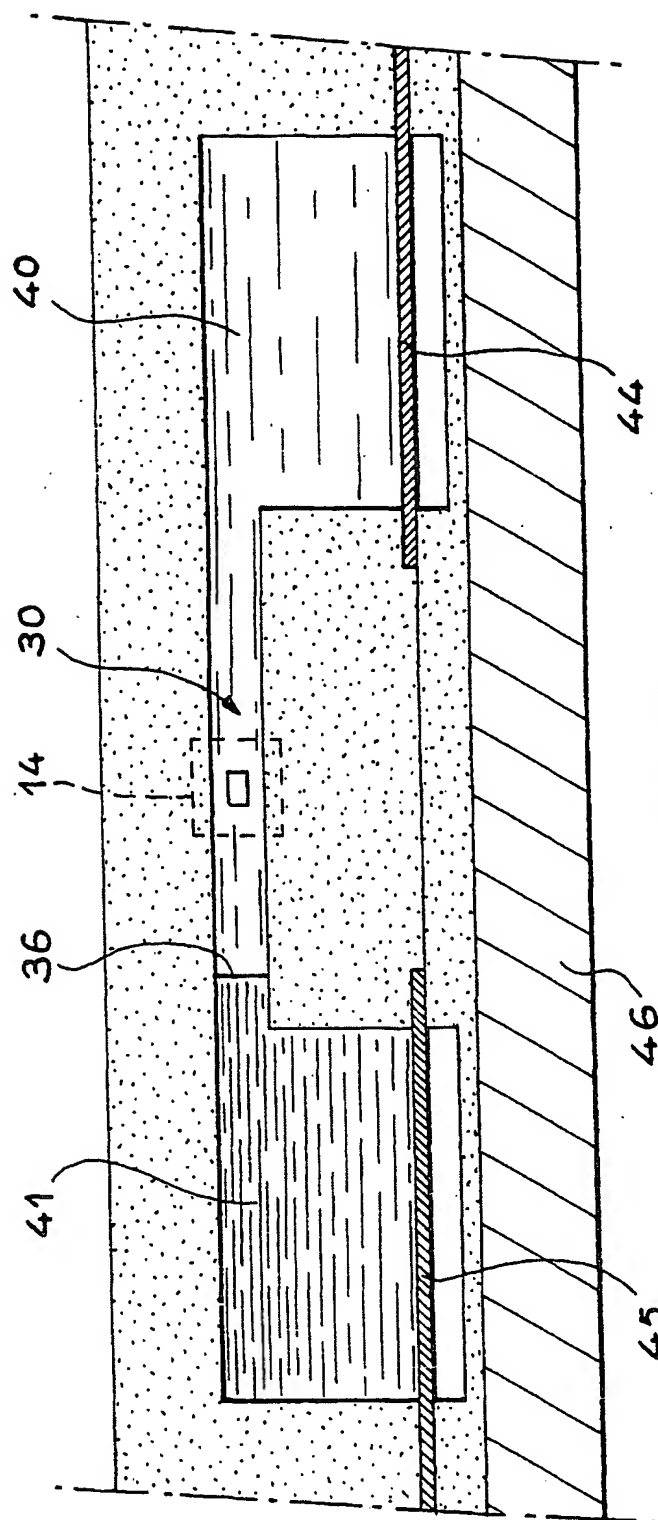


FIG. 10

7 / 11

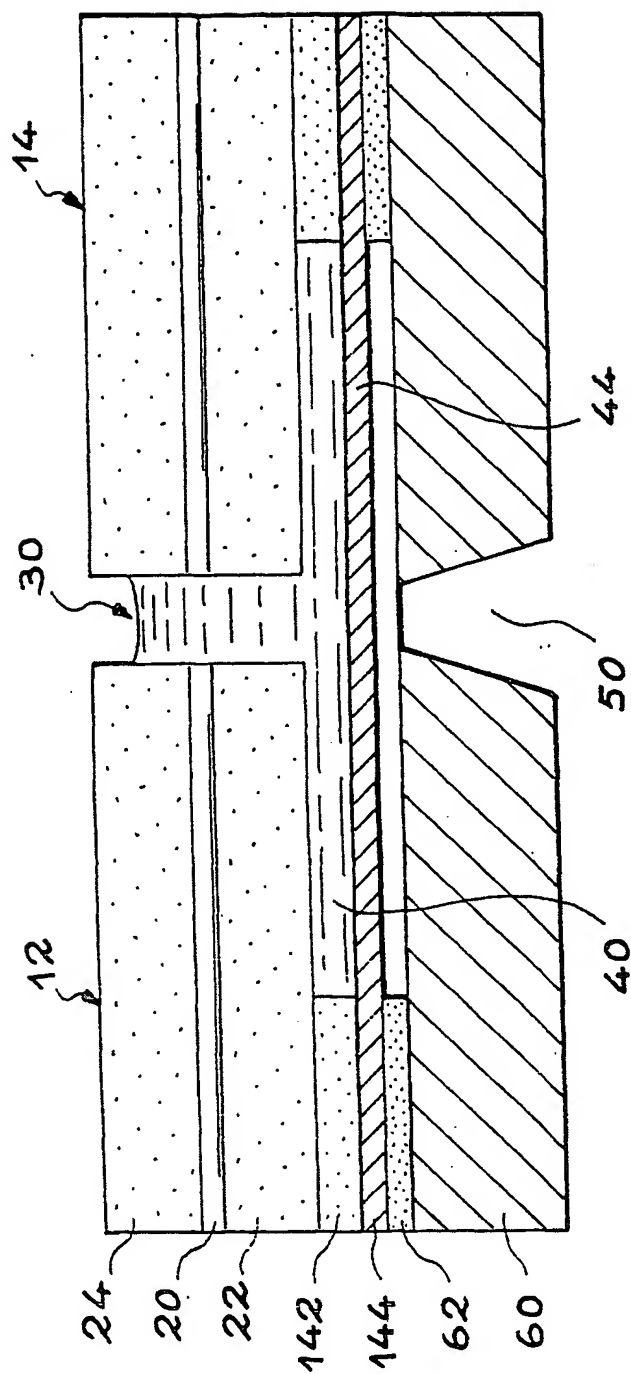


FIG. 12

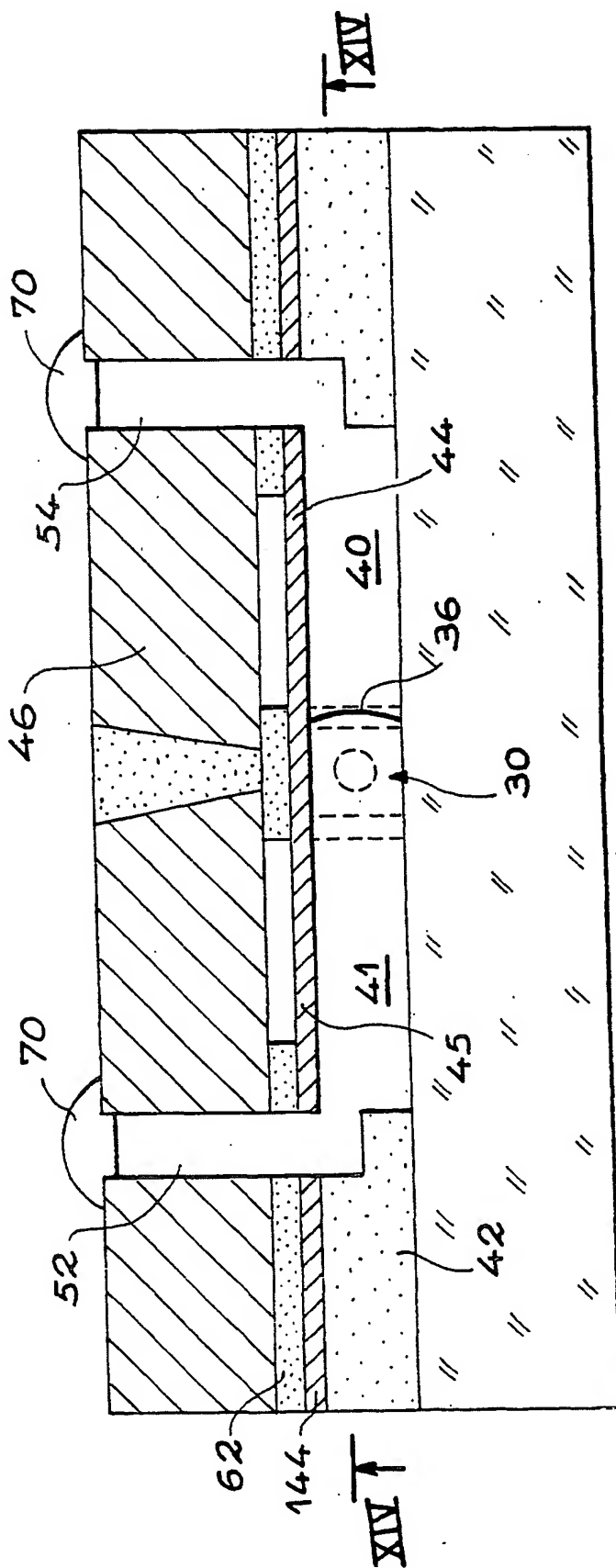


FIG. 13

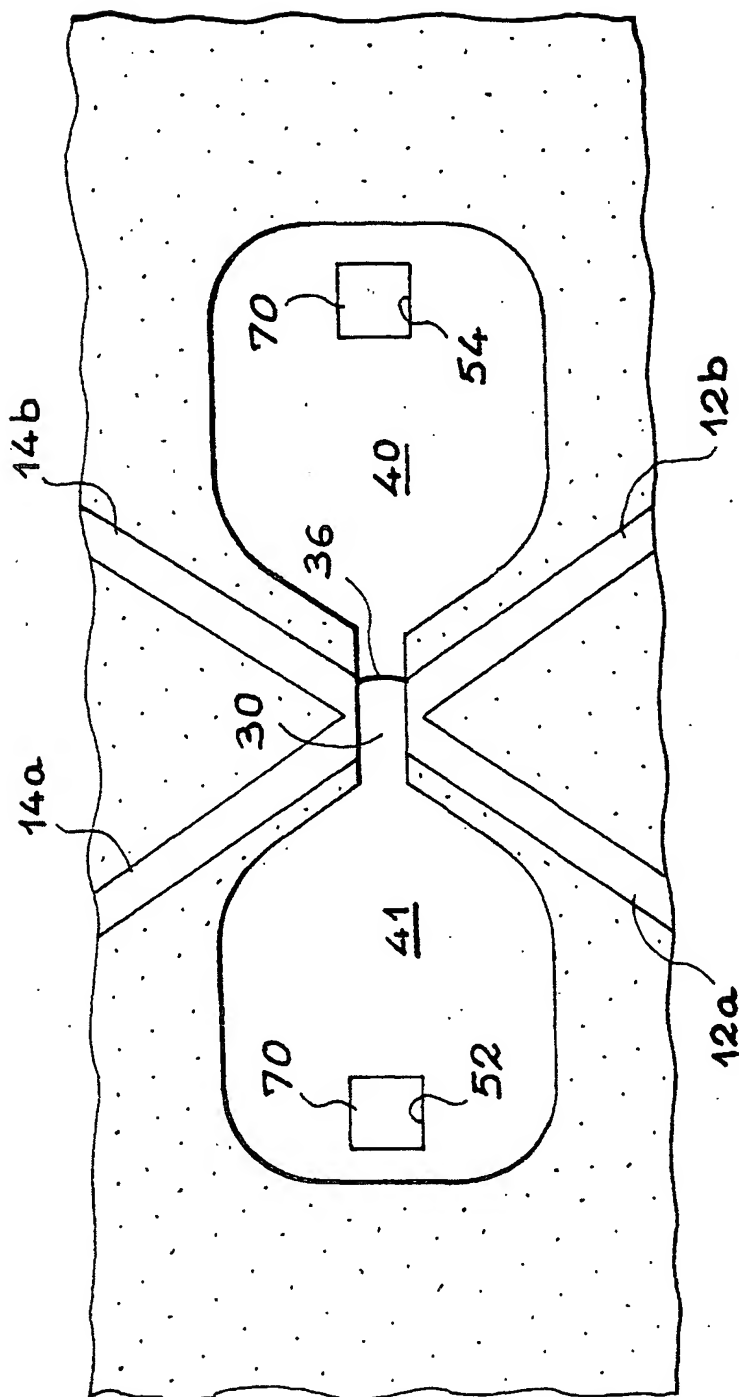


FIG. 14

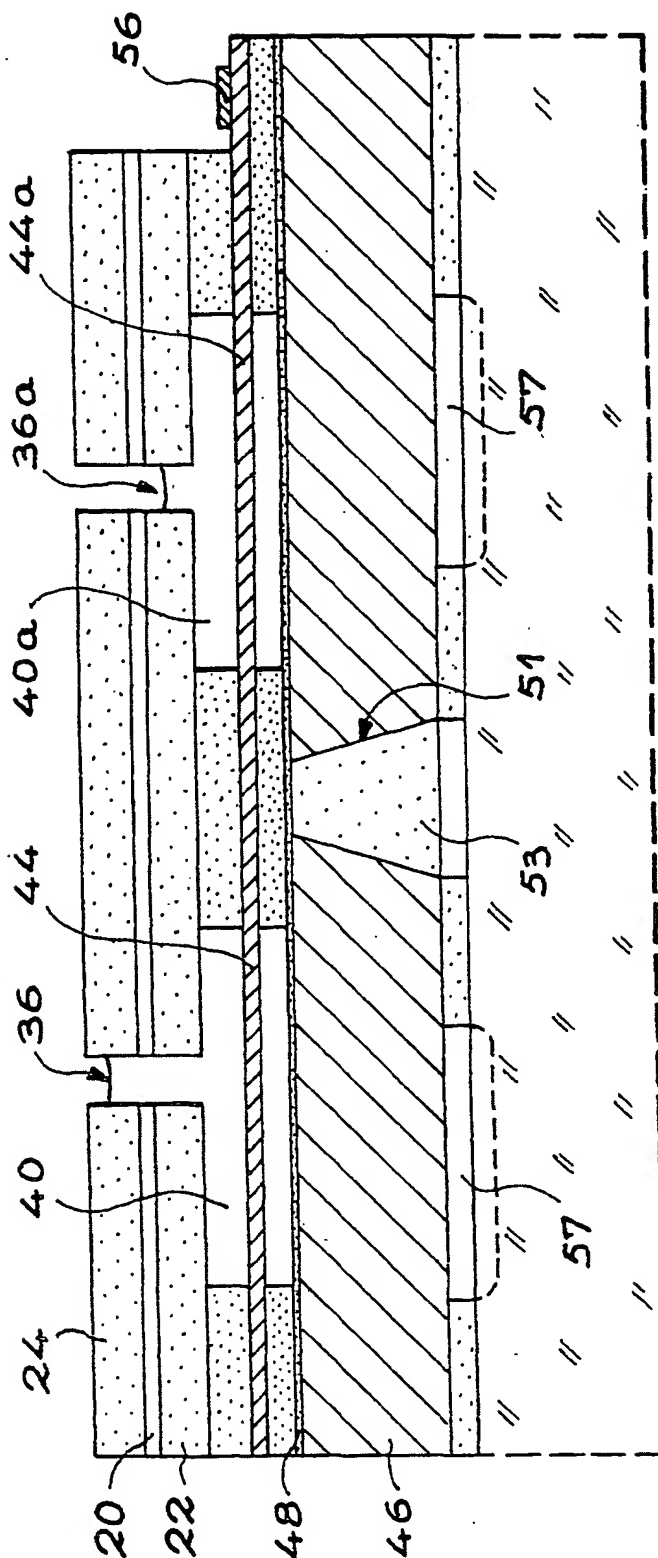


FIG. 15

11/ 11

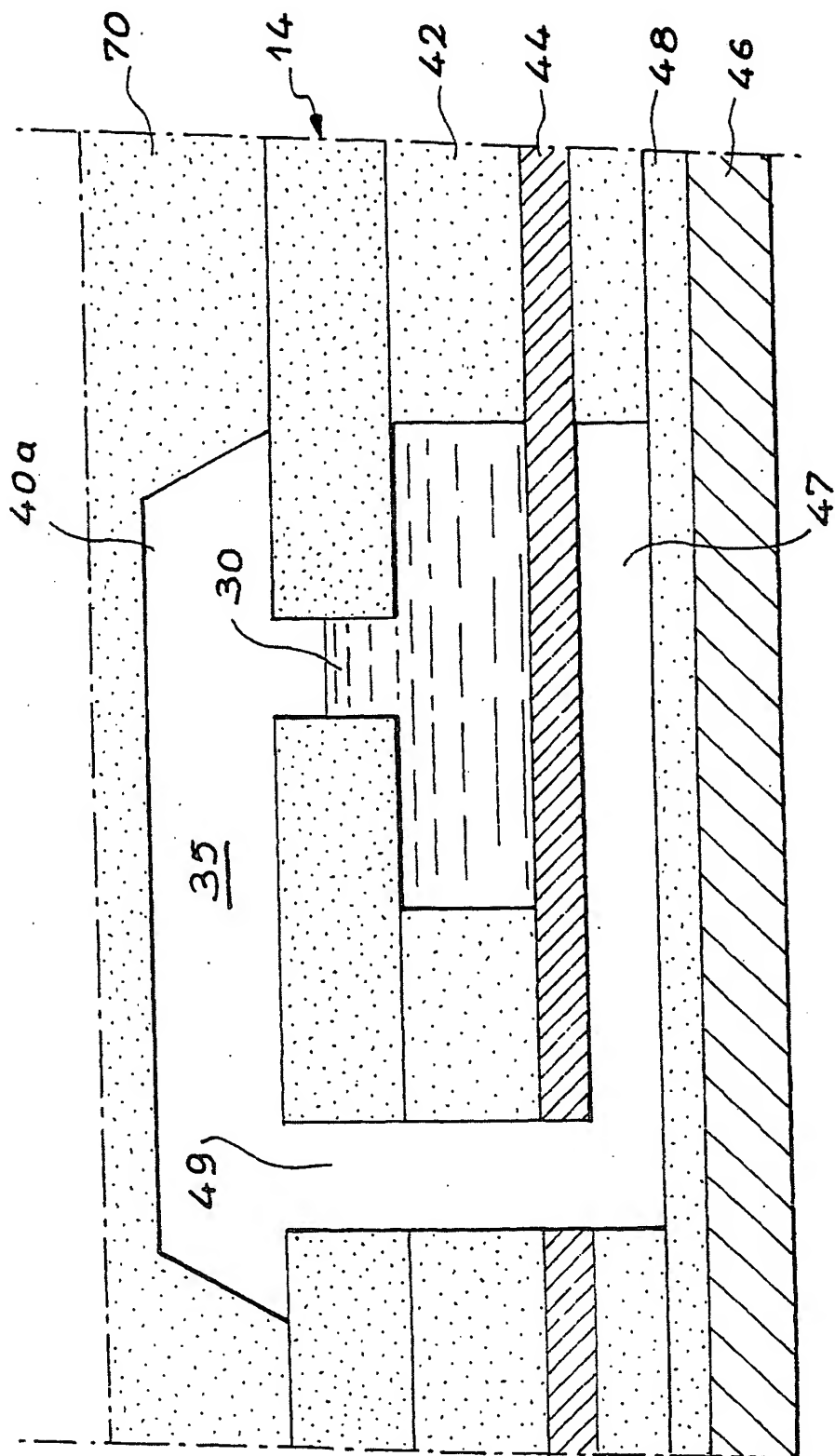


FIG. 16